

ÉVALUATION COMPARÉE DU DÉGAGEMENT DE MÉTHANE SUR UN LIEU D'ENFOUISSEMENT SANITAIRE

Denis Bussières, Ph. D., professeur,
Université du Québec à Chicoutimi
(denis_bussieres@uqac.ca)

Suzanne E. Allaire, Ph. D., professeure,
Université Laval

Denis Roy, D. Sc., professeur,
Université Laval

Alexandre R. Cabral, Ph. D., professeur,
Université de Sherbrooke

Rémy Larouche, M. Sc., professeur,
Cégep de Jonquière

João F. Moreira, Ph. D., stagiaire
postdoctoral, Tommy Ringuette, Sébastien
F. Lange, Souley Falama, Jonathan Lafond,
étudiants, Université Laval

et Mohamed-Ali Askri, étudiant,
Université de Sherbrooke

Introduction

Les changements climatiques vont de toute évidence perdurer bien après le protocole de Kyoto. Par conséquent, les différents gaz à effet de serre (GES) ont une grande importance pour tous les humains et l'auront pour encore longtemps. Les méthodes mesurant leur dégagement sont encore peu précises et basées sur plusieurs approximations. De plus, la variabilité du terrain influence directement la variabilité des valeurs obtenues par des méthodes traditionnelles qui sont souvent basées sur un échantillonnage ponctuel autant dans le temps que dans l'espace. Par exemple, une forêt mixte a pu servir de terrain de mesure de bilan de GES, puis ces résultats appliqués sur tous les types de forêt. Cette extrapolation des paramètres à différents types de surface engendre des erreurs et des biais importants, surtout lorsque c'est reporté aux surfaces de tout un pays comme le nôtre. Devant cette situation, plusieurs intervenants recherchent des mesures plus réalistes des bilans de GES pour toute une gamme de terrains, tels que les forêts, les terres agricoles et les terrains urbains.

Depuis déjà plusieurs années, des méthodes spectroscopiques sont disponibles pour mesurer la teneur de différents gaz dans l'air (Farhat et Todd, 2000; Li, 2002). Selon la nature du gaz ciblé, il est possible d'utiliser un système dans le domaine de l'infrarouge, du visible ou de l'ultraviolet. De plus, selon les besoins, un même système peut mesurer un ou plusieurs gaz en même temps. La multiplication des mesures en simultané rend le système plus complexe à opérer.

Dans ce contexte, nous avons voulu effectuer une étude comparative préliminaire de différentes méthodes de quantification des dégagements de méthane (CH_4). L'étude a été réalisée sur des cellules fermées d'un lieu d'enfouissement sanitaire (LES). Deux méthodes de prélèvement ponctuel de gaz, c'est-à-dire un détecteur portatif par ionisation de flamme (FID) et des chambres de flux gazeux, ont été comparées à deux méthodes spectroscopiques, soit un analyseur de gaz avec émission par diode laser (LGA) et un spectromètre infrarouge (OP-FTIR). Le LGA et l'OP-FTIR fonctionnaient sur un parcours ouvert de plusieurs dizaines de mètres dans l'environnement étudié. Il faut

préciser que ces méthodes spectroscopiques sont à des stades de développement différents et ne sont pas encore d'utilisation courante. Une fois ces nouvelles méthodes éprouvées, notre inventaire d'outils disponibles s'en trouvera enrichi.

Matériel et méthodes

L'étude comparative a été faite les 3 et 4 juillet 2007 par beau temps sur une cellule d'un LES ayant reçu des déchets domestiques entre 1997 et 2000 approximativement. L'épaisseur de déchets est d'environ 25 m. Quatre équipes ont participé à cette comparaison sur le terrain. La première équipe a utilisé sept chambres de flux de 1 m² chacune et un chromatographe gazeux portable (micro-GC CP-4900) de marque Varian (Lange et Allaire, 2008) muni d'un détecteur TCD avec de l'hélium ultrahaute pureté comme

gaz porteur. Ces chambres de flux ont été disposées parallèlement et en aval (selon la direction du vent) des deux méthodes spectroscopiques (figure 1A). Une fois ces chambres installées au sol, un échantillon de l'air intérieur est prélevé régulièrement. La progression de la concentration de CH₄ dans ces chambres permet de calculer le flux de CH₄ par unité de surface.

La seconde équipe a utilisé un détecteur portable par ionisation de flamme (FID) et a vérifié, en marchant sur le terrain, où pouvaient se situer les points de dégagement de CH₄, communément appelés les points chauds (*hot spots*).

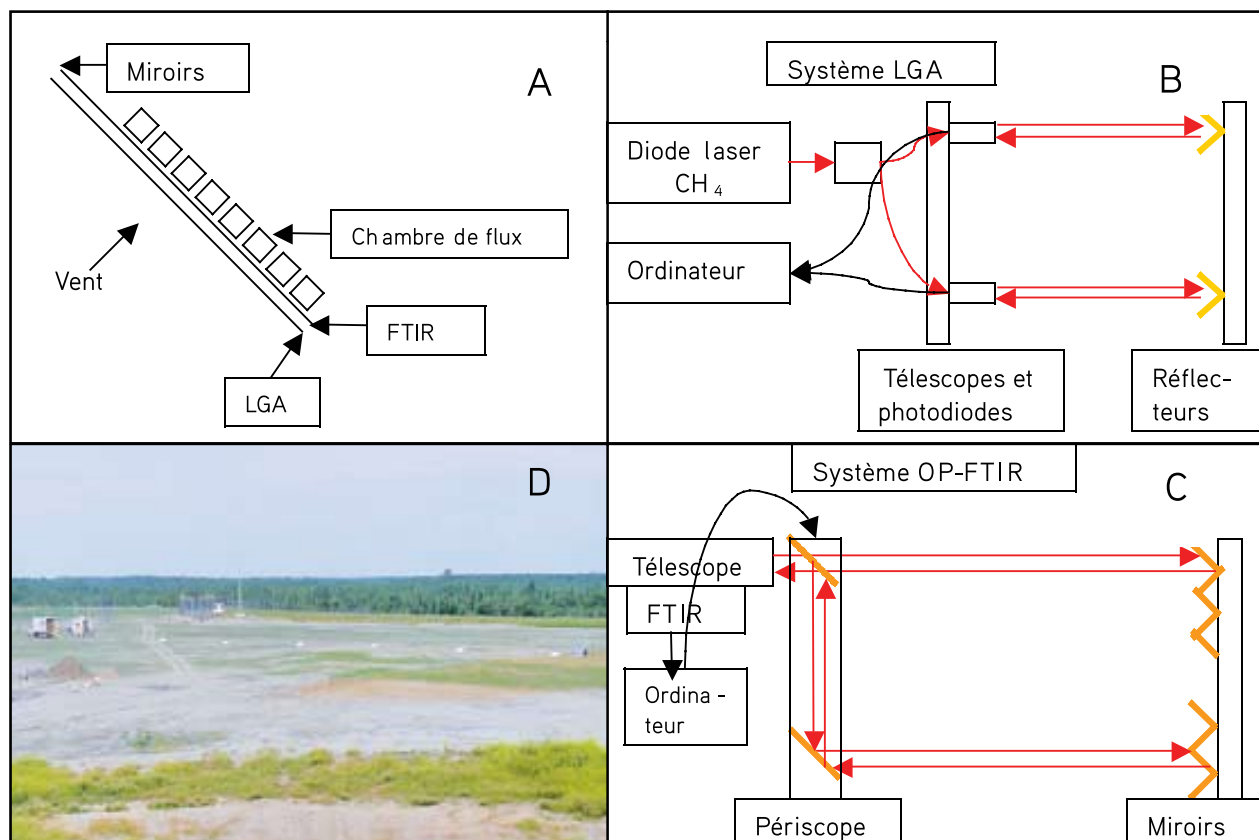
La troisième équipe a utilisé une méthode spectroscopique sur parcours ouvert avec, comme source, une diode laser spécifique

(LGA) (figure 1B) à la longueur d'onde d'absorption du CH₄ (1651 nm) (Larzillière *et coll.*, 2005). Son mince faisceau infrarouge était divisé en deux et dirigé à 0,68 et 1,96 m du sol et réfléchi chacun par un miroir en coin plaqué or situé à une distance connue sur le terrain. Deux détecteurs de type InGaAs enregistrent l'intensité de lumière à toutes les 10 millisecondes revenant de ce parcours optique. La concentration est calculée à partir de cette intensité intégrée pendant 10 secondes à l'aide d'un programme informatique et la mesure sur deux hauteurs permet de déterminer le flux moyen de CH₄, c'est-à-dire une masse dégagée par unité de surface et par unité de temps.

Pour calculer le flux d'un gaz libéré par unité de surface de terrain, soit un flux convectif, nous avons utilisé deux mesures

Figure 1

A) Schéma présentant la disposition des différents appareils B) Schéma résumant les principales composantes du système d'analyse de gaz par diode laser (LGA) C) Schéma montrant les principales composantes du spectromètre infrarouge à transformée de Fourier avec parcours ouvert (OP-FTIR) D) Photographie présentant une vue générale du site d'échantillonnage



de concentration et de vitesse du vent à des hauteurs différentes connues, et ce, dans un délai le plus court possible. Le calcul du flux a été fait selon l'équation suivante :

$$Flux = D \left(\frac{\partial c}{\partial h} \right) \quad (1)$$

où « D » est un coefficient et $\left(\frac{\partial c}{\partial h} \right)$ est le gradient de concentration du gaz en question, ici le CH_4 , selon la hauteur (ou la verticale). Les calculs nécessaires pour transformer ces données en flux de CH_4 tiennent compte du vent, de la température et de la pression atmosphériques. Ils sont très complexes et dépassent l'objectif de cet article. Pour ceux qui seraient intéressés à avoir de plus amples détails, consultez Zannetti (1990) ou Majewski *et coll.* (1990).

La quatrième équipe a utilisé un spectromètre infrarouge à transformée de Fourier sur un parcours ouvert (OP-FTIR) de marque ABB, dont le faisceau infrarouge à large spectre provient d'une barre incandescente (*glowbar*) (figure 1C). Ce faisceau est émis par le télescope de l'appareil puis réfléchi par une matrice de miroirs en coin plaqués or située à la même distance que celui du LGA pour être redirigé au détecteur du spectromètre par le même télescope. De plus, à l'aide d'un périscope muni d'un miroir à 45° motorisé et contrôlé par l'ordinateur, le faisceau infrarouge est envoyé alternativement à 0,65 et 1,50 m du sol sur un parcours parallèle à environ 1 m du parcours de l'équipe du LGA (figure 1A). Par informatique, le signal, transformé par le spectromètre, nous permet de calculer les concentrations moyennes de CH_4 à toutes les 80 secondes. Puis le logiciel de la troisième équipe (voir équation 1) a servi à calculer les flux de CH_4 observés. Une station météorologique complète fournissait la température, la pression, la vitesse et la direction du vent, la radiation solaire et le taux d'humidité.

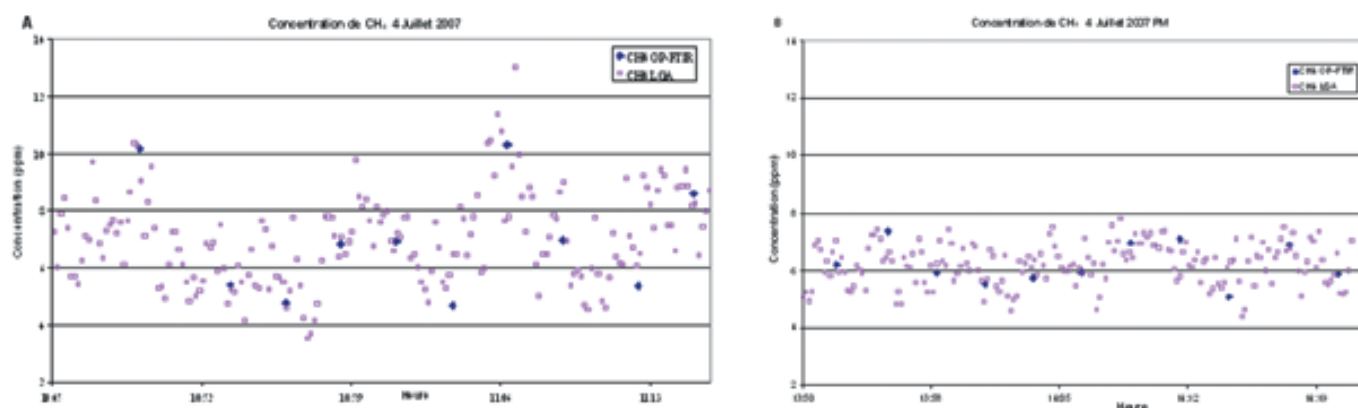
Résultats et discussions

Deux périodes de mesures sont présentées, correspondant à deux transects différents sur le site. Un premier transect, ci-après appelé « AM », consistait en un parcours aller-retour de 223,6 m en direction est-sud-est pendant lequel un léger vent oscillant entre 0 et 2,5 m·s⁻¹ avec une moyenne inférieure à 1 m·s⁻¹ en direction sud ($\pm 20^\circ$). Le second transect, ci-après appelé « PM », consistait en un parcours aller-retour de 354,8 m en direction ouest pendant lequel le vent oscillait entre 0,5 et 9,5 m·s⁻¹ avec une moyenne de 3,5 m·s⁻¹ en direction sud ($\pm 1^\circ$). Durant la période de temps de mesure, la température et la pression atmosphérique étaient très stables à $23,8 \pm 1,0^\circ C$ et $101,70 \pm 0,03$ kPa pour le transect AM, puis à $26,5 \pm 0,5^\circ C$ et $101,47 \pm 0,01$ kPa pour le transect PM. Nos calculs ont tenu compte de ces valeurs et de leur variation.

La première activité consistait à trouver quelques points de dégagement de CH_4 à l'aide du détecteur FID portatif. Le premier transect a été déterminé en fonction d'un de ces endroits. En fait, après un aller-retour précis le long de ce transect, un seul endroit de dégagement de CH_4 a été détecté. Pendant ce temps, un échantillon de l'air de chaque chambre de flux était analysé et un seul confirmait la présence de CH_4 pratiquement à l'endroit identifié par le FID. Cette seule chambre de flux affichait donc un dégagement de CH_4 de 1,6 mg·m⁻²·s⁻¹. Cependant, toutes les chambres affichaient une augmentation de la teneur en dioxyde de carbone (CO_2) et, par le fait même, une diminution de la teneur en oxygène. Ceci est tout à fait normal dans la situation où, dans un espace fermé sur un mètre carré de sol dégagant certains gaz, l'augmentation de la teneur en gaz dégagés par le sol, ici le CO_2 et le CH_4 , diminue nécessairement la proportion de l'oxygène pour lequel il n'y a pas d'apport externe. Pour le transect PM, nous nous sommes placés sur une zone fermée, mais proche de la zone d'enfouissement active (cellule ouverte). Une fois nos systèmes

Figure 2

Concentrations de méthane (CH_4) en parties par million sur base volumique (ppmv) obtenues sur le site d'échantillonnage par LGA et par OP-FTIR pour les transects AM (A) et PM (B)



installés, ni le FID, ni les chambres de flux n'ont permis de détecter de dégagement de CH_4 .

La figure 2 présente les concentrations moyennes de CH_4 dans l'air mesurées par les deux méthodes spectroscopiques en parties par million sur une base volumique (ppmv) pour les transects AM (figure 2A) et PM (figure 2B). Les concentrations observées dans l'air ambiant sont principalement entre 4 et 11 ppmv en AM, puis entre 5 et 7,5 ppmv en PM. Les très faibles vents en AM influencent les concentrations mesurées de CH_4 en limitant l'homogénéisation des émissions dans l'air, ce qui se traduit par des concentrations très variables. En PM, un vent un peu plus rapide et plus soutenu permettait un meilleur mélange de l'air ambiant et des gaz dégagés par le site (cellule fermée, sur laquelle se trouvait le transect, et la cellule ouverte, où se trouvait le front d'enfouissement), résultant en des concentrations beaucoup moins variables.

L'analyse visuelle des résultats permet de constater que les résultats des deux méthodes sont similaires et relativement concordants. Une comparaison plus pointue des résultats a été effectuée sur la même période de temps, soit des périodes de 80 secondes utilisées par le FTIR pour accumuler et traiter son signal. En utilisant le rapport du résultat FTIR sur celui du LGA, la moyenne de ce rapport est de $1,01 \pm 0,24$ pour la portion AM, de $1,06 \pm 0,03$ pour la portion PM et globalement de $1,02 \pm 0,22$. Cette comparaison permet de confirmer que les résultats obtenus par OP-FTIR sont similaires à ceux obtenus par LGA.

Pour les concentrations observées dans l'air ambiant, les valeurs sont principalement entre 4 et 11 ppmv en AM, puis entre 5 et 7,5 ppmv en PM. Les très faibles vents en AM influencent les concentrations mesurées de CH_4 en limitant l'homogénéisation des émissions dans l'air, ce qui se traduit par une gamme de valeurs de concentrations plus étendue. En PM, un vent plus fort et plus soutenu permettait un meilleur mélange de l'air ambiant et des dégagements gazeux menant à des mesures dans un domaine plus restreint de valeurs.

La figure 3 (voir p. 56) présente les flux moyens de CH_4 , en $\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, obtenus pour les transects AM (figure 3A) et PM (figure 3B) pour les deux méthodes spectroscopiques, au moyen de l'équation 1. Les flux calculés avec les concentrations obtenues à l'aide du LGA montrent une très grande variation en peu de temps, surtout en PM. Ceci indique que lorsqu'il y a une grande variation temporelle de la concentration mesurée, des résultats de flux obtenus avec l'OP-FTIR sont moins précis, puisque les concentrations aux deux hauteurs sont mesurées en alternance aux 80 secondes.

Dans le cas où la variation temporelle est plus faible, comme pour le transect AM, les valeurs de flux par LGA et par OP-FTIR sont semblables (figure 3A) et varient entre 0,0 et $1,0 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Ces

résultats sont du même ordre de grandeur que le flux obtenu par une des chambres de flux ($1,6 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$). La différence entre ces flux peut être attribuée au fait que le LGA et l'OP-FTIR mesuraient sur 223,6 m, alors que la chambre était située sur le seul point de dégagement important de CH_4 du transect.

Les estimés de flux sont moins comparables pour le transect PM. L'OP-FTIR semble surestimer les flux de CH_4 , hormis pour cinq des résultats (figure 3B) par rapport aux flux obtenus par LGA. Les flux calculés par LGA alternent entre positif et négatif, ces derniers étant plus fréquents. Ceci indique une absorption de CH_4 par le sol, probablement parce que le système de captage était très efficace et que le pompage était probablement trop fort. Ces résultats sont supportés par le fait que ni le détecteur mobile FID, ni les chambres de flux n'ont réussi à détecter de dégagement de CH_4 . Il semble donc que les flux de CH_4 obtenus par OP-FTIR sont surestimés sur le transect PM. Le délai entre les deux mesures du haut et du bas par OP-FTIR complique l'analyse et la comparaison entre les méthodes et, par conséquent, la qualité du résultat. Des travaux de recherche complémentaires sont actuellement en cours pour vérifier les limites d'application de la méthode d'évaluation des flux gazeux par OP-FTIR.



Biothermica

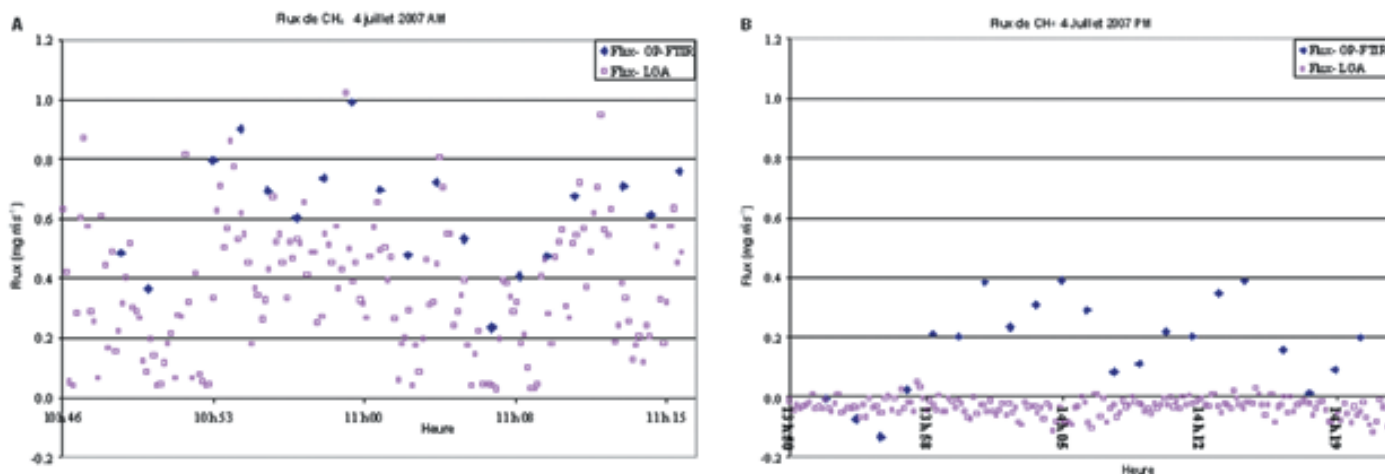
Notre énergie au service de l'environnement
Depuis 1987, notre mission est de fournir des solutions innovatrices pour réduire les gaz à effet de serre et l'émission de polluants industriels afin de contribuer au mieux-être de notre environnement.
Notre expertise est l'application des procédés thermiques au traitement des effluents gazeux et solides dans les domaines suivants :

- MILIEU INDUSTRIEL - DIVISION AIR**
Le contrôle des émissions de polluants (COV, HAP, poussières)
• Biotex® Procédé d'oxydation thermique régénérative (RTO) - Traitement des composés organiques volatils et condensables (COV et COC)
• Cinox® Filtration haute température - Contrôle des émissions particulaires
• Précipitateur électrostatique (ESP) - Contrôle des émissions particulaires
Biotex® - RTO technologie (Photo)
- SITE D'ENFOUISSEMENT - DIVISION BIOGAZ**
La récupération et la valorisation des biogaz
• Évaluation du potentiel futur de production énergétique et de réduction des gaz à effet de serre
• Conception, construction et gestion des réseaux de captage et de torchères
• Enregistrement et vente des crédits de réduction de GES
Site d'enfouissement El Salvador - destruction des biogaz (Photo)
- ÉNERGIES RENOUVELABLES - DIVISION ÉNERGIE**
La production d'énergie (Biogaz, Biomasse, Éolien)
• Étude de faisabilité technico-économique et stratégies de financement
• Ingénierie, construction et mise en service de centrales
• Développement de nouveaux concepts et de nouvelles technologies
Gâtineau - centrale aux biogaz (Photo)

426 Sherbrooke Est, Montréal, Québec H2L 1J6
Téléphone : 514-488.3881 • Télécopieur : 514-488.3125 • www.biothermica.com

Figure 3

Flux de méthane (CH_4) par mètre carré et par seconde ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) obtenus par LGA et par OP-FTIR sur le site d'échantillonnage pour les transects AM (A) et PM (B)



Conclusion

Basée sur notre comparaison de plusieurs méthodes, la spectrométrie infrarouge par diode laser (LGA) pourrait être utilisée pour mesurer le dégagement de CH_4 sur différents terrains. Les résultats obtenus par LGA sont concordants avec la méthode traditionnelle et ponctuelle utilisant des chambres de flux comme l'ont démontré Chanton *et coll.* (2007). La méthode par LGA permet de couvrir une grande distance donnant une valeur moyenne de concentration et de flux le long de ce transect. La méthode par spectrométrie infrarouge à bande large sur parcours ouvert (OP-FTIR) permet de mesurer également la concentration et le flux moyen de CH_4 sur un grand transect dans certaines situations. La différence de temps entre deux mesures engendre probablement une erreur trop grande dans certaines situations et requiert des travaux complémentaires pour une utilisation courante. Les deux méthodes spectroscopiques présentent un potentiel indéniable pour les travaux sur le terrain et sauront devenir chacune un outil important pour les mesures et les contrôles des émissions de gaz par les sites d'enfouissement.

Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier tous les intervenants dans ce projet, particulièrement l'administration et le personnel du lieu d'enfouissement sanitaire et les organismes subventionnaires supportant les groupes de recherche.

Références

Chanton, J., G. Hater, D. Goldsmith, R. Green, T. Abichou et M.A. Barlaz. (2007). *Comparison of a tunable diode laser approach with static chambers for determination of surface methane emission*, Proceedings of Eleventh International Waste Management and Landfill Symposium, Cagliari, Italy, 1-5 octobre 2007.

Farhat, S.K. et L.A. Todd. (2000). « Evaluation of Open-Path FTIR Spectrometers for Monitoring Multiple Chemicals in Air », *Applied Occupational and Environmental Hygiene*, 15(12), 911-923.

Lange, S. F. et S. E. Allaire. (2008). « Le chromatographe portable : mesurer les émissions de gaz par les sols », *VECTEUR environnement*, 41(2), p. 58.

Larzillière, M., D. Roy, Ph. Chrétien, T. Ringuette et L. Varfalvy. (2005). « Development and Use of an Experimental near Infrared Open Path Diode Laser Prototype for Continuous Measurement of CO_2 and CH_4 Fluxes from Boreal Hydro Reservoirs and Lakes », p. 61-85 dans *Greenhouse Gas Emissions - Fluxes and Processes*. Sous la direction de A. Tremblay, L. Varfalvy, C. Roehm et M. Garneau (Springer, Berlin, 2005).

Li, Y., J.-D. Wang, Z.-H. Huang, H.-Q. Xu et X.-T. Zhou. (2002). « Monitoring leaking gases by OP-FTIR remote sensing », *Journal of Environmental Science and Health*, 37A(8), 1453-1462.

Majewski, M.S., D.E. Glotfelty, K.T. Paw and J.N. Seiber. (1990). « A field comparison of several methods for measuring pesticide evaporation rates from soils ». *Environmental Sciences and Technology*, 24:1490-1497.

Zannetti, P. (1990). « Air pollution modeling: theories, computational methods and available software ». *Computational Mechanics Publications*, Southampton, U.K., 444 p. <